

Le 10 septembre 2023

# DOCUMENT DE PROJET

---

## Skadi



Présenté par

**L'équipe Skadi d'AeroIPSA**

Chef de projet :

**Anouk VITIS**



# TABLE DES MATIÈRES

Club	3
Projet	4
Equipe	6
Mission principale	7
Mission secondaire	10
Missions annexes	11
Design général	12
Problèmes Rencontrés	14
C'Space	15
Remerciements	18
Annexes	19

# LE CLUB



Depuis plus de 30 ans, Aerolpsa, une association étudiante de l'école d'ingénieurs IPSA (Ivry-Sur-Seine), conçoit et réalise entièrement des projets scientifiques en rapport avec le secteur aérospatial. Elle rassemble des étudiants autour de projets tels que des lanceurs ou des cansats (micro-satellites).

Cela leur permet d'appliquer les notions apprises durant leur cursus au profit d'un projet d'envergure et d'acquérir au passage les compétences nécessaires dans leur futur métier d'ingénieur.

L'association a également pour objectif de transmettre des valeurs de partage de connaissances. Que ce soit en mécanique ou en électronique, les nouveaux membres sont soutenus à chaque instant par leurs aînés.

# PROJET

Le projet Skadi est un projet de Cansat, un micro-satellite capable de réaliser de nombreuses expériences tout au long de sa descente sous parachute. Ces microsatsellites peuvent être envoyés sur des exoplanètes à des fins de recherches. Ils peuvent nous envoyer de précieuses informations pour connaître toutes les caractéristiques environnementales des astres sur lesquels ils atterrissent (pression atmosphérique, humidité, température, ...). Ces données sont primordiales lors de l'anticipation des équipements nécessaires pour des missions ultérieures plus complexes. Le principe du CanSat repose sur l'idée de concevoir, dans un volume réduit, une charge utile et autonome.



© Planetes sciences

À l'occasion du Concours Cansat France 2023, organisé en partenariat par le CNES et Planètes Sciences et se déroulant lors de la campagne du C'Space, le projet Skadi s'inscrit comme étant une opportunité pour beaucoup de ses membres de découvrir les bases de l'électronique et les enjeux de l'aéromodélisme.

Ainsi, ce projet est pour nous un excellent moyen de mettre en pratique les notions théoriques étudiées au cours de notre formation en école d'ingénieur, d'apprendre de nouvelles choses, mais également de développer nos compétences à travailler et se dépasser en équipe. L'envie d'effectuer les missions demandées avec succès est une motivation à trouver des réponses créatives et pertinentes à des contraintes diverses, notamment celle de la miniaturisation d'un système.

# PROJET

Le nom Skadi a été choisi d'après la déesse nordique des montagnes, car l'objectif initial du projet était de pouvoir atterrir sur un terrain accidenté tel que des montagnes. Au vu des du cahier des charges du concours 2022-2023 les expériences ont été modifiées.

Lors du largage, le Cansat est conçu pour effectuer trois missions :

1. Contrôler son parachute triangulaire en utilisant des coordonnées GPS et trois moteurs d'engrenage
2. Scanner un code QR situé sur la trajectoire avec une caméra embarquée et enregistrer les données sur une carte SD
3. Libérer des graines au moment désigné.

Dans l'ensemble, les questions scientifiques abordées par ce CanSat tournent autour de la compréhension de la viabilité des environnements exoplanétaires inconnus et de l'étude de leur potentiel pour la croissance de végétaux. Tout d'abord, le projet vise à assurer un atterrissage en toute sécurité dans une zone désignée. Puis en capturant des images de la descente et du scan de codes QR et en larguant des graines pendant la descente, le projet vise à explorer et récolter les données d'une zone d'atterrissage sélectionnée.

Le logo fait référence au but originel du cansat et comporte les couleurs de l'association.



# L'ÉQUIPE

Le projet est composé d'une équipe de 4 membres répartis de la façon suivante :

**Chef de projet:**

Anouk Vitis

**Responsable électronique:**

Alicia Heddadj

**Membres:**

Yahia Taia  
Nour Mohamed

## Répartition

<b>Mission principale</b>	<b>Mission secondaire</b>	<b>Missions annexes</b>
Alicia Heddadj	Anouk Vitis	Nour Mohamed
Yahia Taia		

# MISSION PRINCIPALE

## Contrôle de trajectoire

La mission principale du projet est de pouvoir contrôler la trajectoire du cansat tout au long de sa descente afin de le faire atterrir le plus proche possible d'une position GPS définie avant le largage.

Etant donné que la position d'atterrissage ciblée peut varier en fonction des conditions, nous pourrions rapidement transférer les nouvelles coordonnées GPS via une fente laissant accès au port USB de notre système électronique.

## Parachute



Pour contrôler la trajectoire de descente du cansat nous avons décidé d'utiliser un parachute triangulaire similaire au parachute de secours présent lors de vols en parapente.

Contrairement à un parapente, ce type de parachute présente une meilleure stabilité grâce à une structure en 3 coins qui nous permettra également de contrôler le cap.

Ce contrôle s'effectue de la même façon que le ferait un parachutiste en tirant sur une suspente, l'idée est donc d'équiper le cansat d'un système de 3 moteurs à courants continus chacun capable d'enrouler ou dérouler une suspente, à l'aide d'un système de poulie, afin de diriger le cansat vers la position voulue.

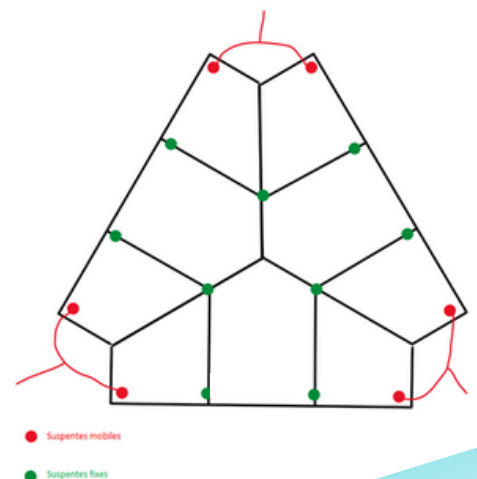
Il est toutefois important de noter que pour une même surface, un parachute triangulaire possède une vitesse de descente plus élevée que les autres types de parachute : il nous sera nécessaire de réaliser des tests afin de trouver une surface permettant une descente suffisamment lente pour permettre la navigation du cansat.

## Resultats des premiers essais

Selon les données fournies par le Stabtraj, pour une masse de 1kg (masse maximale du cansat), un parachute cruciforme nécessiterait une surface d'un peu moins de 0,28 m<sup>2</sup>. Comme mentionné précédemment, nos premiers essais nous ont confirmé que le parachute devra être plus grand pour avoir une vitesse de descente satisfaisante.

Nous avons réussi à déterminer une surface appropriée de 30 cm<sup>2</sup> qui garantit une descente suffisamment lente pour une navigation correcte du CanSat au alentour de 7 m/s.

Dans un deuxième temps, l'expérimentation sur la taille des suspentes nous a montrés que la réduction de l'une d'entre elle permet de modifier le cap de manière efficace.



# MISSION PRINCIPALE

## Contrôle de trajectoire

### Repérage dans l'espace

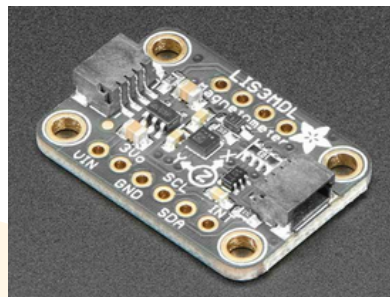
Concernant les composants de notre système électronique, nous avons décidé d'utiliser un module GPS dont nous pourrions afficher les coordonnées sur un écran OLED (128x64 pixels) à tout instant. Peu coûteux en énergie, ce type d'écran nous permettrait d'afficher clairement les coordonnées ciblées avant le vol afin d'éviter les erreurs d'objectif, il permettra également d'afficher l'état des capteurs avant le lancement. Enfin lors de la récupération, il affichera la position finale et sa distance à la cible.



Nous nous sommes orienter vers l'utilisation d'un module Grove proposant une meilleure précision de position et une fréquence de mise à jour des coordonnées plus rapide, car la sensibilité du suivi et de l'acquisition peut atteindre -160dBm.

la sensibilité de la poursuite et de l'acquisition atteignent toutes deux -160dBm.

En plus d'une consommation d'énergie plus intéressante que les autres modules disponibles sur le marché, il assure l'envoi des données pour un contrôle des suspentes suffisamment rapide pour arriver à l'endroit ciblé.



Une fois largué, le système CanSat doit estimer la bonne trajectoire à suivre et commander les moteurs en conséquence pour descendre lentement vers le point d'atterrissage visé. L'orientation du cansat dans l'espace pourra être faite à l'aide d'un magnétomètre couplé a un accelerometre et gyroscope.



# MISSION PRINCIPALE

## Traitements des données

Dans le cadre du projet CanSat, le traitement des données joue un rôle crucial dans l'atteinte des objectifs de la mission. Pour s'assurer que les données de nos capteurs sont correctement interprétées et pour réduire les erreurs d'interprétation, nous pouvons ajouter quelques filtres afin de fournir des données plus pertinentes.

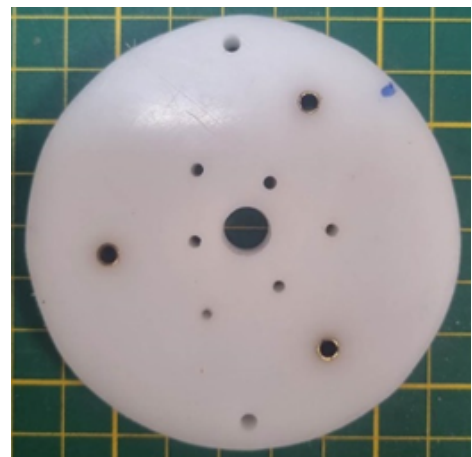
Un accéléromètre est utilisé pour mesurer l'accélération du CanSat le long de ses différents axes. Cependant, les données brutes de l'accéléromètre peuvent être bruitées, en particulier pendant la phase de descente où le CanSat subit d'importantes vibrations. Pour obtenir des estimations plus précises de la position et de la vitesse, nous avons utilisé un filtre de Kalman pour traiter les données de l'accéléromètre.

Le filtre de Kalman est un algorithme mathématique qui combine les mesures des capteurs et les incertitudes des mesures pour affiner en permanence les données collectées afin d'estimer l'état réel d'un système. Il fournit des estimations optimales et précises en minimisant les erreurs entre les valeurs prédites et mesurées.

Nous utilisons également un magnétomètre pour déterminer le cap ou l'orientation du satellite CanSat en fonction du champ magnétique terrestre. Cependant, les lectures du magnétomètre peuvent être affectées par des interférences magnétiques externes et ont des limites inhérentes, en particulier lors de rotations et de mouvements rapides. Pour une estimation plus stable et plus fiable du cap, nous avons décidé d'utiliser un filtre complémentaire.

## Recupération

Pour sécuriser le parachute et garantir un atterrissage en toute sécurité, nous avons utilisé du polyoxyméthylène (POM) pour fabriquer l'anneau. Chaque ligne fixe est attachée à un trou, tandis que les lignes mobiles sont connectées directement aux poulies imprimées en 3D. En raison de la forme triangulaire du parachute, nous avons adapté le trou pour la suspension. Comme trois des suspentes sont mobiles, nous avons décidé d'ajouter des petits morceaux de tube en laiton pour réduire le risque de fusion avec les frottements.



# MISSION SECONDAIRE

## Reconnaître un QR Code au sol

La mission secondaire du projet est la récupération des données d'un QR code de format A0 disposé sur la zone de lancement au préalable. Cette lecture de données se fera à l'aide d'une caméra installée au fond du cansat. Les données seront enregistrées sur carte SD et affichées sur un écran OLED.

### Module caméra

Afin de lire et de reconnaître les données du QR code, nous avons choisi d'utiliser le module ESP32CAM, celui-ci est équipé d'une camera, d'un microcontrôleur ainsi que d'un port micro carte SD. Ce module est directement programmable grâce à l'ESP32, cela nous permet donc de gagner pas mal de place et d'avoir une expérience autonome.



Le cansat est chargé de lire et décodées les images. Les données scanner seront sauvegardées dans un fichier .txt sur la carte SD.

Pendant la descente, le CanSat peut subir des vibrations qui pourraient affecter la qualité du flux vidéo de la caméra, ce qui rendrait la reconnaissance du code QR plus difficile.

Pour résoudre ce problème, en plus de réaliser le balayage en niveaux de gris, nous avons décidé d'enregistrer régulièrement des photos de la descente sur la carte SD, que nous pourrons analyser par la suite grâce à un code python et un traitement d'image. Cette solution offre une meilleure chance de décoder des images plus floues.

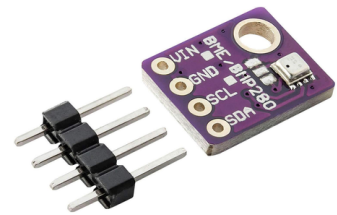
# MISSION ANNEXES

## Language de graine et étude d'environnement

Notre première mission annexe consiste au largage de graines. Nous aimerions étudier l'environnement du cansat en analysant les données de température et d'humidité. Ces données serviront à voir si l'environnement est adapté aux graines que nous avons choisies et si celles-ci ont de quoi se développer.

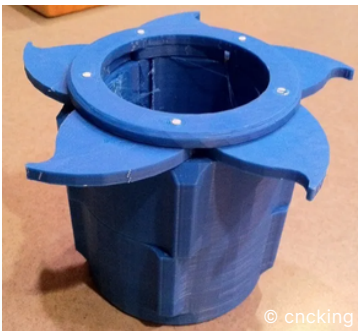
### Capteurs d'environnement

Pour cela, nous allons équiper notre cansat d'un capteur BME280, ce capteur est à la fois petit et efficace. En plus de ces deux premiers paramètres, nous pourrons également récupérer la pression.



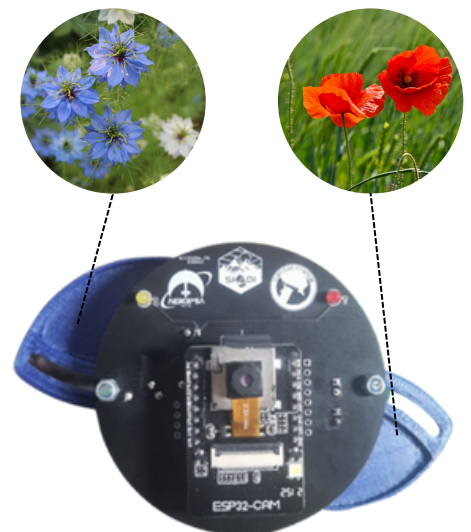
### Graines

En nous basant sur le terrain de lancement, nous avons décidé d'embarquer des graines de coquelicots et de nigelles de Damas adaptées aux sols secs et au fort ensoleillement.



Les graines seront éjectées à l'aide d'un déploiement de tiroirs. Nous souhaitons réaliser une ouverture de plusieurs compartiments comme sur la photo ci-contre. Les compartiments seront rangés au centre du cansat et, sur le principe des iris d'appareil photo, un servo moteur viendra tourner la première bague et fera coulisser les compartiments vers l'extérieur.

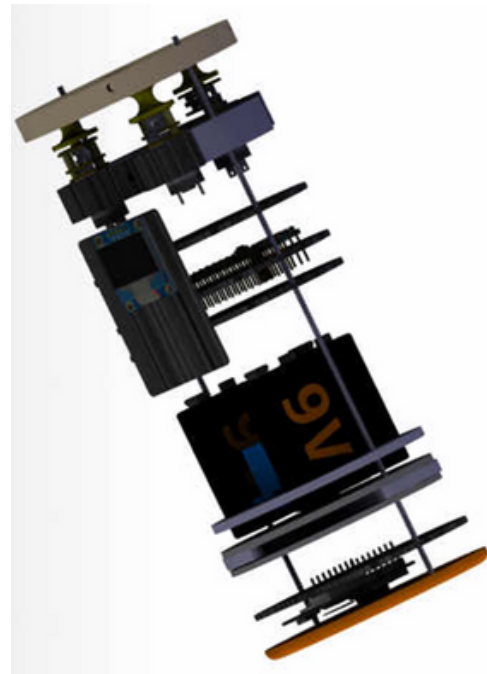
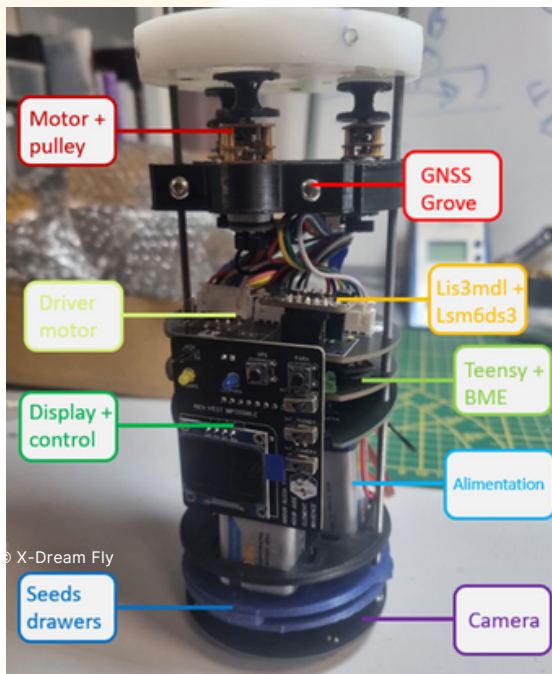
Ces missions mènent des études environnementales et évaluent l'adéquation de la zone d'atterrissage pour la croissance des graines. Les données recueillies contribueront à une meilleure compréhension de l'environnement des exoplanètes et fourniront des informations précieuses pour la recherche scientifique future. Ces connaissances pourraient ainsi s'avérer précieuses pour les futures missions spatiales de longue durée et la culture de plantes dans des environnements extraterrestres, contribuant ainsi à une production alimentaire durable et à la mise en place de systèmes de survie pour les astronautes.



# DESIGN GÉNÉRAL

## Structure du cansat

Pour la forme globale du cansat, nous voulions un cylindre, couvrant une plus grande surface du volume autorisé. Nous avons créé une enveloppe protectrice pour protéger la structure interne du système. Nous avons implanté notre circuit imprimé sur deux tiges filetées et nous avons séparé les étages à l'aide d'écrous. Ce système nous permet de retirer l'électronique et d'accéder plus rapidement à l'étape suivante. Les dimensions suivent les spécifications du concours, avec un diamètre de 78 mm et une hauteur de 200 mm. Le poids sera d'environ 480g. Voici des photos du CAO complet de notre cansat et de sa réalisation :



Nous avons choisi de fabriquer une enveloppe en fibre de verre composite pour protéger les capteurs et l'électronique. Nous avons utilisé un tube de Pringles comme support pour obtenir un diamètre interne de 76 mm. Ce projet a également été l'occasion d'apprendre à nos nouveaux membres à fabriquer des matériaux composites.



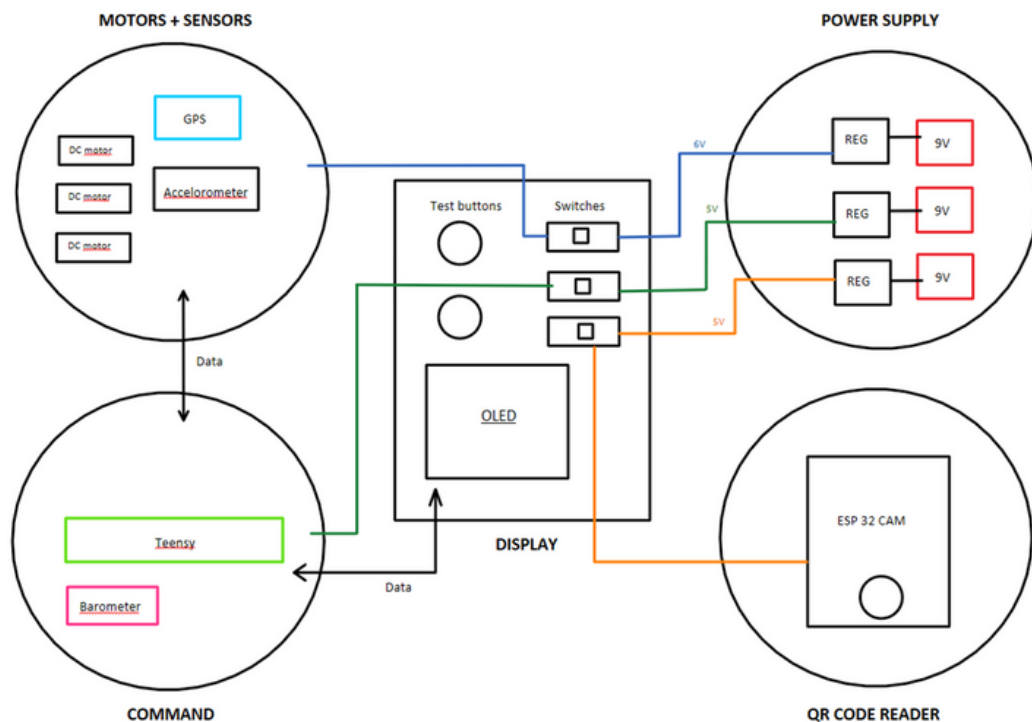
# DESIGN GÉNÉRAL

## Structure interne

La conception électrique du CanSat comprend cinq cartes de circuits imprimés, chacune remplissant une fonction spécifique. Elles ont toutes été conçues à l'aide du logiciel EasyEda et fabriquées par JLCPCB, ce qui a permis un développement et une production efficaces du système électrique.

Pour optimiser l'utilisation de l'espace, quatre circuits imprimés circulaires ont ainsi été utilisés, respectivement dédiés à l'alimentation électrique, au module de commande Teensy, aux moteurs et autres capteurs, et à la caméra.

En complément, un circuit imprimé rectangulaire a été développé pour accueillir l'écran OLED, ainsi que les interrupteurs d'alimentation et les boutons de test. Alors que certains PCB peuvent être clipsés les uns aux autres (connexion Teensy-Moteurs notamment), ce PCB particulier agit comme un centre de connexion central, facilitant l'intégration de tous les composants une fois le CanSat encastré dans le tube en fibre de verre.



Pour l'alimentation électrique, trois piles de 9 volts ont été placées sous la partie électrique principale, à côté du bloc servomoteur des tiroirs, afin de fournir suffisamment d'énergie.

# PROBLÈMES RENCONTRÉS

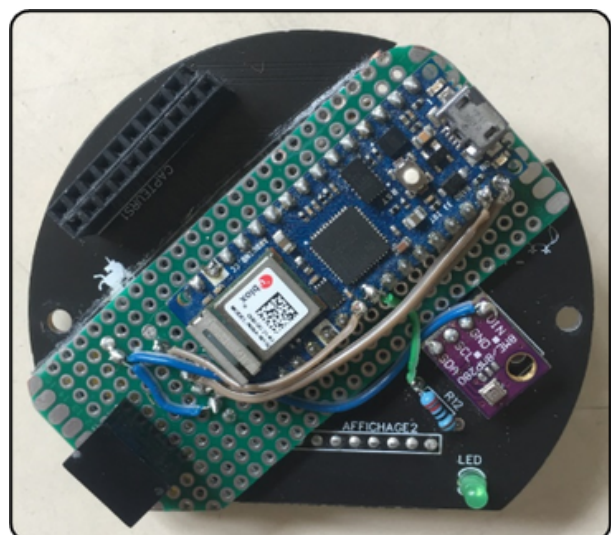
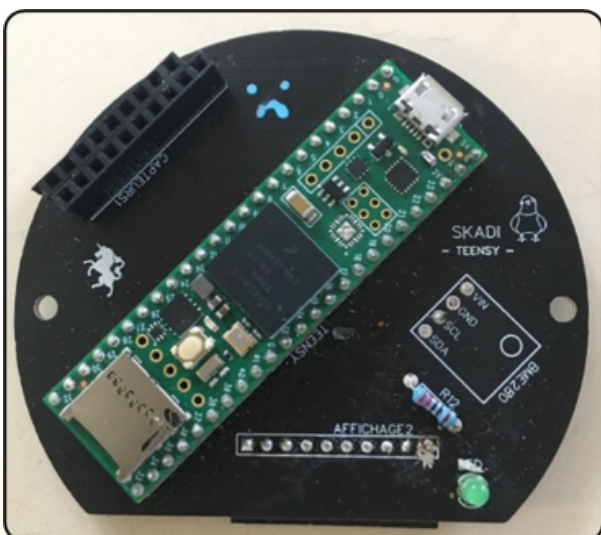
## Incident de Parachute

En raison de la nature exigeante de nos missions et du choix particulier de notre système de parachute, nous avons dû mener de nombreuses simulations de vol, en lançant notre CanSat depuis le sixième et dernier étage de notre établissement scolaire.

Malheureusement, au cours de la semaine précédant la campagne de lancement, nous avons rencontré un incident : malgré l'utilisation d'une protection en papier bulle par mesure de précaution, un essai impliquant notre parachute final s'est soldé par un échec en raison de la configuration de nos suspentes mobiles. Nous avons délibérément choisi de ne pas faire passer ces suspentes par l'anti-torche, ce qui a eu des conséquences dommageables pour notre système puisque le parachute s'est emmêlé durant la descente. Notre module caméra est devenu inutilisable, et la Teensy a grillé, probablement en raison du choc soudain et à la compression des éléments à l'intérieur du CanSat. Nous avons par la suite ajouter une extention à notre anti-torche.

## Remplacement de la Teensy

En raison de contraintes de temps et de budget, nous avons dû prendre la décision de remplacer la Teensy par une seule Arduino Nano 33 IoT. Cette décision a été motivée par la nécessité d'utiliser la liaison RX-TX pour accéder aux données GPS, rendant l'utilisation de deux Arduino Nano impossible. L'Arduino Nano 33 IoT présentait l'avantage d'un nombre suffisant de ports PWM pour le fonctionnement de nos actionneurs, mais cela a impliqué l'abandon de l'utilisation des encodeurs (cf. Annexes).



# PROBLÈMES RENCONTRÉS

## **Adaptations Techniques**

À notre arrivée au C'Space, nous avons concentré nos efforts sur la soudure d'une nouvelle PCB équipée de l'Arduino Nano. Pour améliorer la stabilité de la carte, nous avons ajouté un régulateur 3.3V pour l'alimentation des capteurs. L'adaptation à la carte 33 IoT a posé des défis techniques, car nous avons dû modifier certaines bibliothèques conçues initialement pour la Teensy. Cette transition a nécessité de sacrifier le temps initialement alloué à la préparation du largage et à la finalisation de l'utilisation des filtres de Karman.

## **Difficultés Supplémentaires**

En raison du manque de temps, nous n'avons pas pu effectuer des ajustements approfondis dans le traitement des données. De plus, la complexité du câblage a potentiellement introduit des courts-circuits. Une fois la nouvelle PCB achevée, nous avons constaté que les moteurs ne répondaient pas toujours correctement, et l'absence des encodeurs a rendu difficile le diagnostic de ce problème.

Malgré ces obstacles, la nouvelle PCB nous a permis de gérer les aspects essentiels du vol, notamment la collecte et l'affichage des données. De plus, la réception d'une nouvelle ESP32-CAM la veille du largage nous a offert l'opportunité de réaliser la soudure d'une autre PCB et de mener à bien notre mission secondaire.

# C'SPACE

## Drop et resultats

Malheureusement, les conditions de lancement ont été dégradées par un accident du drone de largage le matin des lancements, grâce au effort des bénévoles, nous avons cependant pu larguer notre Cansat à une hauteur réduite (50m au lieu de 180m). Nous disposions alors d'une hauteur moindre qui influençait la réussite des missions principales, il a été décidé de ne pas compter le résultat de la mission principale dans l'attribution des points.

# C'SPACE

## GNSS

Suite à une erreur de codage, les données récupérées du GNSS sont inutilisables, les données sauvegardées sur la carte SD sont des nombres à 2 chiffres après la virgule alors qu'une position GNSS est précise à partir de 6 chiffres. Cependant, sur le site de lancement, nous avons pu récupérer les données sur le moniteur OLED avec une bonne précision, ce qui nous a permis d'être certains que l'erreur provenait de nos codes et non du capteur.

Nous avons également pu constater que certaines suspentes étaient plus déroulées que d'autres lors de la récupération, indiquant le fonctionnement des moteurs.



## QR code

Nous avons eu la chance d'effectuer 2 lancements, lors du deuxième lancement, effectué plus près de la cible, notre cansat a été en mesure de photographier celle-ci. Le QR code et les données contenues ont pu être décodés post-vol à l'aide de plusieurs traitements d'images.



Contenu:

**3, 2, 1 and drop !**



# C'SPACE

## Largage

Lors d'essais au sol le système de tiroirs était fonctionnel, le matin du lancement les piles ont alors été changées. Sur la zone de lancement, le système avait du mal à se déployer, il a tout de même été rempli de graines dans l'espoir d'un bon déploiement pendant la phase de vol. Celui-ci n'a pas eu lieu. Après plusieurs recherches nous avons conclu que le problème pouvait provenir de deux choses :

- Les piles sont des piles longues durée, elles ont donc tendance à limiter l'ampérage donné à un instant précis contrairement au besoin du servo moteur.
- Un court-circuit a pu avoir eu lieu au niveau du branchement du servo moteur sur la PCB de rechange lors de l'intégration de la structure interne dans l'enveloppe.

Nous avons également pu récupérer différentes données relatives à l'environnement, telles que la pression avec une valeur moyenne de 973,6 hPa, la température autour de 18,6° et un taux d'humidité de 67%.

## Concours

Le Concours Cansat France 2023 a été une expérience enrichissante pour notre équipe. Malgré les défis rencontrés, cette compétition nous a permis de développer des compétences essentielles et d'acquérir une expérience précieuse dans le domaine de l'aérospatiale.

L'un des aspects les plus significatifs de ce concours était la possibilité de travailler en équipe restreinte, ce qui a encouragé la collaboration et le partage d'idées au sein de l'équipe, renforçant ainsi notre capacité à travailler ensemble de manière efficace.

De plus, le fait que le concours dispose de peu de participants nous a offert l'occasion de bénéficier d'un soutien plus personnalisé de la part des organisateurs et des bénévoles. Leur expertise et leur disponibilité nous ont été d'une grande aide tout au long du processus de préparation et de lancement.

Finalement, ce concours a été une expérience formatrice nous permettant de développer des compétences en conception électronique, en résolution de problèmes, mais également en esprit de compétition, renforçant ainsi notre engagement envers la poursuite de projets scientifiques et aérospatiaux ambitieux à l'avenir.

# REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier EgyptAir et Azimuth pour leur soutien financier dans la réalisation de ce satellite CanSat. Ils ont tous deux fait preuve d'un engagement sans faille à l'égard du projet et ont joué un rôle crucial en facilitant l'acquisition de l'équipement et des ressources nécessaires. Leurs généreuses contributions ont été déterminantes pour la réussite de ce projet et ont eu un impact significatif sur le résultat de nos recherches, nous permettant de progresser et d'atteindre nos objectifs.



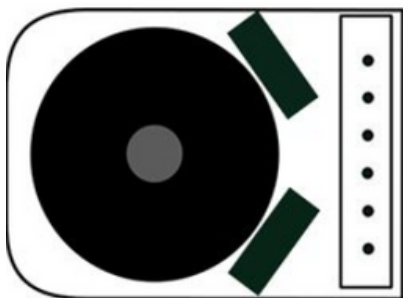
Nous souhaitons également exprimer notre gratitude à notre club Aerolpsa et à tous ses membres pour leur aide tout au long de l'année, leur soutien et la mise à disposition du matériel nécessaire.

Plus important encore, nous aimerions remercier sincèrement tous les membres de Planète Sciences pour leur travail acharné dans l'organisation de cette compétition et pour l'aide et les conseils qu'ils nous ont apportés tout au long de ce projet. Leur soutien et leur encadrement ont été précieux pour nous aider à relever les nombreux défis rencontrés et à atteindre nos objectifs.



# ANNEXES

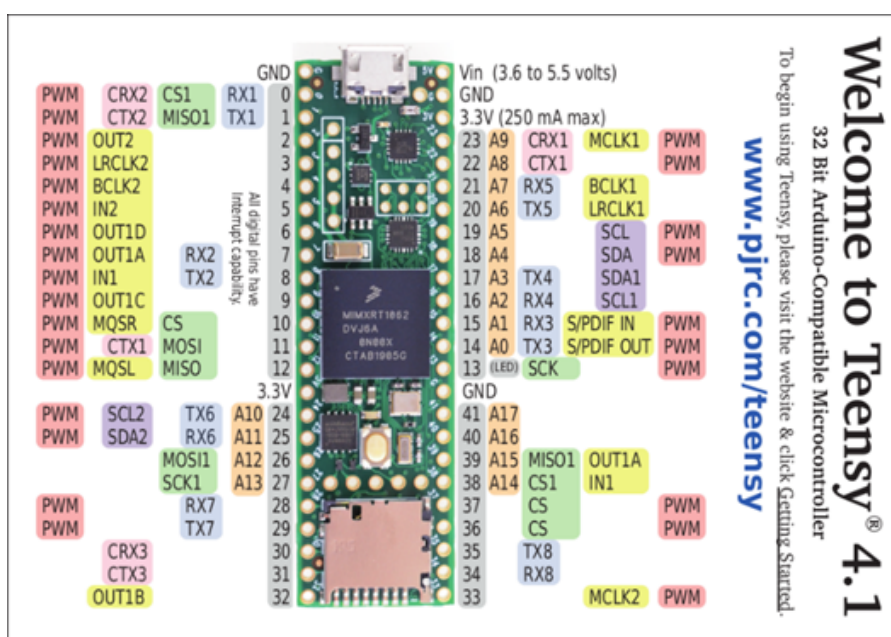
## Spécifications du servomoteur



1. Alimentation moteur
2. Alimentation encodeur (3,3 ou 5 Vcc)
3. Phase A de l'encodeur
4. Phase B de l'encodeur
5. Masse encodeur
6. Masse moteur



## Teensy 4.1 schéma



## Arduino 33iot schéma



ARDUINO  
NANO 33 IoT

